

## 配方肥对小麦产量·肥料利用率和抗倒伏性的影响

袁媛媛<sup>1</sup>, 韦翠珍<sup>2</sup>, 郭刚<sup>1</sup>, 王家宝<sup>1</sup>, 井玉丹<sup>1</sup>, 孙义祥<sup>1\*</sup> (1.安徽省养分循环与资源环境省级实验室/安徽省农业科学院土壤肥料研究所, 安徽合肥 230031; 2.中水淮河规划设计研究院有限公司, 安徽合肥 230061)

**摘要** 为探明配方肥对小麦产量、肥料利用率和抗倒伏性的影响, 在安徽省小麦主产区设置了农民习惯处理、配方肥处理、配方肥分别配施锌肥和硫肥处理及其同时配施锌肥和硫肥的处理的田间试验。结果表明, 与农民习惯相比, 5个配方肥处理增加了小麦产量; 配方肥配施锌和硫肥提高了小麦氮、磷、钾肥偏生产力, 平均增幅达9.6%、92.6%、54.1%; 配方肥配施锌和硫肥降低了小麦的株高, 提高了小麦的抗倒伏指数。

**关键词** 小麦; 配方肥; 产量; 肥料利用率; 抗倒伏指数

中图分类号 S143.7 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)18-0161-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.18.039



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Effects of Formula Fertilizer on Yield, Fertilizer Use Efficiency and Lodging Resistance in Wheat

YUAN Man-man<sup>1</sup>, WEI Cui-zhen<sup>2</sup>, WU Gang<sup>1</sup> et al (1. Anhui Provincial Laboratory of Nutrient Cycling and Resource and Environment, Institute of Soil and Fertilizer, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei, Anhui 230031; 2. China Water Huaihe Planning, Design and Research Co., Ltd., Hefei, Anhui 230061)

**Abstract** In order to investigate the effects of formula fertilizer on yield, fertilizer use efficiency and lodging resistance in wheat, a field experiment was carried out in the main growing areas of winter wheat in Anhui Province. The treatments of experiments included farmer's practice pattern, different of formula fertilizers application, and combined applying formula, zinc and sulfur fertilizers. The results showed that compared with the farmer's practice pattern, applying formula fertilizers significantly increased wheat yield, and combined applying zinc and sulfur fertilizers had the highest yield. Similarly, compared with the farmer's practice pattern, applying zinc and sulfur fertilizers with formula fertilizer increased the partial productivity of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer in wheat on average by 9.6%, 92.6% and 54.1%, respectively. Applying zinc and sulfur fertilizers with formula fertilizer also decreased the plant height and increased the lodging index of wheat compared with the farmer's practice pattern.

**Key words** Wheat; Formula fertilizer; Yield; Fertilizer use efficiency; Lodging resistance index

小麦是世界主要粮食作物, 对保障我国粮食安全起着举足轻重的作用。安徽省是我国小麦主产区之一, 常年小麦种植面积 253 万  $\text{hm}^2$ 。小麦倒伏常发生在灌浆中后期, 是高产、稳产、优质生产的主要限制因素<sup>[1-2]</sup>。小麦植株抗倒伏能力与株高和茎秆机械强度关系密切, 适当降低株高是提高抗性的有效措施之一<sup>[3-4]</sup>。合理的施肥措施有利于保障小麦产量, 同时提高小麦抗倒伏能力和肥料利用率, 如前氮后移、适量降低氮肥用量等<sup>[2,5]</sup>。

在测土配方施肥行动在全国实施初期, 中国农业科学院在全国的测土配方施肥试验示范结果表明, 小麦平均增产 12.6%<sup>[6]</sup>。到 2010 年, 小麦化肥偏生产力从 10.6  $\text{kg}/\text{kg}$  增加到 11.9  $\text{kg}/\text{kg}$ <sup>[7]</sup>。配方肥作为测土配方技术物化的产品, 对测土配方施肥的成果作出了巨大贡献。根据测土配方施肥技术的发展, 配方肥也在不断发展。从侧重氮、磷、钾大量养分的协调供应, 到考虑锌和硫等中微量元素, 从通用型大配方, 到考虑作物专用配方, 从营养施肥, 到考虑作物的健康的抗逆性, 从传统施肥方式, 到配合机械的精简化施肥方式。配方肥更加全面适应我国现代农业的发展。因此, 笔者通过控释尿素优化配方肥的氮素释放、通过添加锌和硫调节配方肥营养供应, 研究不同配方肥对小麦产量、肥料利用率和抗倒伏性的影响, 以为小麦的健康高效生产提供理论和实践依据。

## 1 材料与方法

**1.1 试验材料与试验地概况** 试验于 2018 年 10 月至 2019 年 6 月在安徽省宿州市埇桥区西二铺村开展, 土壤类型为砂姜黑土, 土壤理化性质: pH 6.95, 有机质 19.7  $\text{g}/\text{kg}$ , 碱解氮、有效磷、有效钾、有效锌和有效硫含量分别为 116、19.2、78、0.34 和 5.88  $\text{mg}/\text{kg}$ 。土壤有效锌含量  $< 0.50 \text{ mg}/\text{kg}$ , 土壤有效硫含量  $< 10.0 \text{ mg}/\text{kg}$ , 分别属于很低和极缺水平<sup>[8-9]</sup>。试验地为冬小麦-夏玉米轮作方式。2018 年 10 月 20 日播种, 播种量为 225  $\text{kg}/\text{hm}^2$ , 品种为华成麦 1688, 播种行距统一为 20 cm, 2019 年 6 月 4 日收获。

**1.2 试验设计** 选择 3 种配方肥,  $\text{N}-\text{P}_2\text{O}_5-\text{K}_2\text{O}$  分别 15-15-15、25-18-7 和 27-8-10。设置 6 个处理(表 1), 3 次重复, 小区面积为 80  $\text{m}^2$ 。根据试验地施肥习惯, 农民习惯主要施  $\text{N}-\text{P}_2\text{O}_5-\text{K}_2\text{O}$  为 15-15-15 的复合肥和追施返青肥尿素, 追肥时间为 2019 年 2 月 15 日, 人工撒施。 $\text{N}-\text{P}_2\text{O}_5-\text{K}_2\text{O}$  配方 25-18-7 为试验地区市售小麦专用缓释型复合肥。 $\text{N}-\text{P}_2\text{O}_5-\text{K}_2\text{O}$  配方 27-8-10 是根据安徽淮北市土壤氮、磷、钾养分数据库, 以及相应的小麦产量水平和每生产 100  $\text{kg}$  籽粒氮、磷、钾养分需求量计算得到(数据未列), 与该地区市售小麦专用复合肥相比, 适当提高了氮肥的比例, 该配方是将氮、磷、钾肥掺混制得, 氮肥为普通尿素( $\text{N}=46\%$ )和释放期分别为 60 和 90 d 的控释包膜尿素, 3 种尿素的质量比为 1:1:1, 磷肥为磷酸一铵( $\text{N}=11\%$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5=44\%$ ), 钾肥为氯化钾( $\text{K}_2\text{O}=60\%$ )。试验设置一次性施肥方式为大型拖拉机旋耕 20 cm 晾晒 1 d 后, 将肥料均匀撒于土壤表面, 旋耕 1 次, 最后

**基金项目** 安徽省农业科学院科技创新团队(2020YL065)。

**作者简介** 袁媛媛(1983—), 女, 安徽宿州人, 助理研究员, 博士, 从事生态环境与农业资源研究。\* 通信作者, 研究员, 博士, 从事农业资源高效利用研究。

**收稿日期** 2020-12-31

播种机将麦种播于土层 3~5 cm 处。田间管理按照当地栽培技术统一进行。

表 1 试验处理和施肥情况

Table 1 Experimental treatment and fertilization

处理代号 Treatment No.	处理 Treatment	配方肥 Formula fertilizer kg/hm <sup>2</sup>	尿素 Urea kg/hm <sup>2</sup>	硫磺 Sulfur kg/hm <sup>2</sup>	ZnSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O kg/hm <sup>2</sup>	施肥方式 Fertilization method	N kg/hm <sup>2</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg/hm <sup>2</sup>	K <sub>2</sub> O kg/hm <sup>2</sup>
T15-15-15-N	农民习惯 15-15-15	750	225	0	0	尿素基肥 150 kg/hm <sup>2</sup> , 返青肥 75 kg/hm <sup>2</sup>	216.0	112.5	112.5
T25-18-7	配方肥 2025/8/10	750	0	0	0	一次性施肥	187.5	135.0	52.5
T27-8-10	配方肥 25-18-7	750	0	0	0	一次性施肥	202.5	60.0	75.0
T27-8-10-Zn	配方肥 27-8-10-Zn	750	0	0	15	一次性施肥	202.5	60.0	75.0
T27-8-10-S	配方肥 27-8-10-S	750	0	15	0	一次性施肥	202.5	60.0	75.0
T27-8-10-Zn-S	配方肥 27-8-10-Zn-S	750	0	15	15	一次性施肥	202.5	60.0	75.0

**1.3 样品采集与测定方法** 茎秆抗倒伏指数可作为衡量和评价小麦茎秆抗倒伏能力的一个综合指标,抗倒伏指数越高,作物茎秆抗倒伏能力越强<sup>[10]</sup>。在小麦蜡熟期,选择长势一致的植株 15 株,测量株高、穗长,测量基部数的倒 1 茎节长和倒 2 茎节长,统计茎节数后,按照李金才等<sup>[11]</sup>的方法测定茎秆抗折力和抗倒伏指数。选择倒 2 茎节,剥除叶鞘,用 YYD-1 植物茎秆强度测定仪(浙江托普仪器有限公司)测定茎秆抗折力(N)。

抗倒伏指数=茎秆抗折力/植株中心高度。茎秆重心高度为茎秆基部至茎(包括穗、叶和鞘)平衡支点的距离(cm)。小麦完熟期,每个小区拔取 1 m<sup>2</sup> 样品,再剪去根系,作为考种和计算收获指数的样品。收获指数=籽粒重/地上部总重。采样后的小麦样品,全部收获测产,风干后折算实产。

氮(磷、钾)肥料偏生产力=籽粒产量/氮(磷、钾)肥料用

量(kg/kg)。

**1.4 数据处理** 应用 Excel 2010 和 SPSS 20.0 进行数据处理和统计分析,应用 Origin Pro 8.0 进行作图。处理间比较采用 One-way ANOVA 分析,差异显著性分析用 Duncan 法。

## 2 结果与分析

**2.1 产量及其构成** 由表 2 可知,与农民习惯处理(T15-15-15-N)相比,配方肥处理对小麦的增产效果不同。T25-18-7、T27-8-10、T27-8-10-Zn 和 T27-8-10-S 比 T15-15-15-N 产量仅增加了 1.4%~2.6%,T27-8-10-Zn-S 比 T15-15-15-N 产量增加了 5.3%,达显著水平( $P<0.05$ )。不同施肥处理间的收获指数差异不大。

分析不同施肥处理的产量构成表明,配方处理比 T15-15-15-N 增加了千粒重和穗粒数,增幅分别为 1.2%~3.8%和 8.7%~18.9%,但有效穗数显著减少了 5.4%~9.6%。

表 2 配方肥对小麦产量和产量构成的影响

Table 2 Effects of formula fertilizer on wheat yield and yield composition

处理 Treatment	产量 Yield kg/hm <sup>2</sup>	千粒重 1 000-grain weight//g	穗粒数 Kernels per spike//粒/穗	有效穗数 Effective panicles 万穗/hm <sup>2</sup>	收获指数 Harvest index
T15-15-15-N	8 258.4±291.1 b	40.2±0.2 b	32.5±1.8 b	758.7±6.1 a	0.39±0.01 a
T25-18-7	8 472.3±85.3 ab	41.1±0.4 a	35.7±1.8 a	718.0±19.7 b	0.38±0.02 a
T27-8-10	8 371.9±149.2 ab	41.0±0.3 a	35.3±1.0 a	686.0±19.1 c	0.39±0.20 a
T27-8-10-Zn	8 395.8±170.9 ab	40.9±1.5 a	37.0±1.5 a	696.7±5.0 bc	0.38±0.03 a
T27-8-10-S	8 460.1±184.8 ab	40.7±0.3 a	38.0±0.9 a	696.7±20.2 bc	0.39±0.03 a
T27-8-10-Zn-S	8 697.9±59.3 a	41.8±0.6 a	37.8±2.1 a	703.3±12.9 bc	0.38±0.01 a

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异显著( $P<0.05$ )

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant difference between different treatments ( $P<0.05$ )

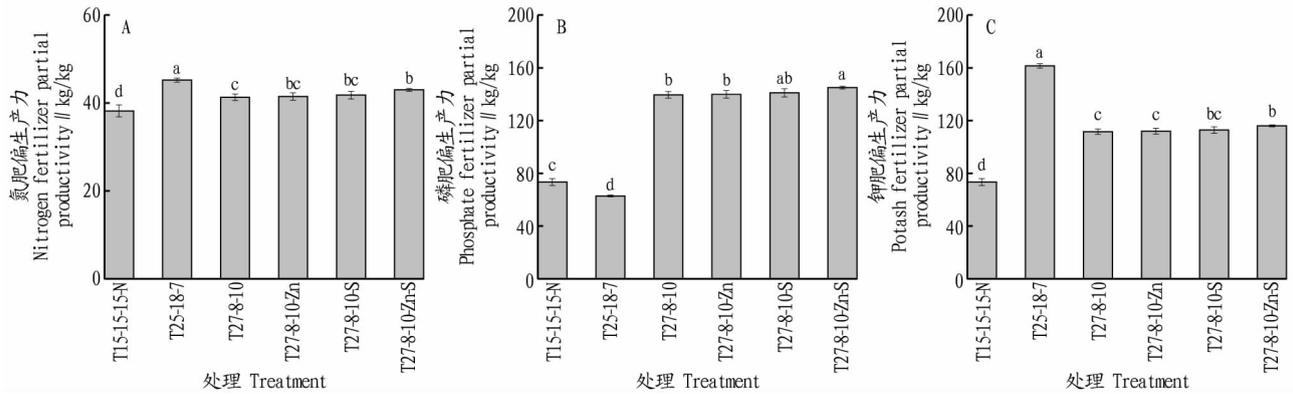
**2.2 肥料偏生产力** 由图 1 可知,不同配方肥处理对小麦的氮、磷、钾肥料偏生产力影响不同,与肥料用量密切相关(表 3)。T15-15-15-N 的氮肥偏生产力最低,为 38.2 kg/kg, T25-18-7 的氮肥偏生产力最高,为 45.2 kg/kg。与 T15-15-15-N 相比,氮肥偏生产力 T25-18-7 增加了 18.2%,T27-8-10-Zn-S、T27-8-10、T27-8-10-Zn 和 T27-8-10-S 则分别增加了 12.3%、8.3%、8.4%和 9.3%。

T25-18-7 由于磷肥施用量最高,比 T15-15-15-N 增加了 22.5 kg/hm<sup>2</sup>,比 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O 配方为 27-8-10 的 4 个处

理增加了 75 kg/hm<sup>2</sup>,因此,T25-18-7 的磷肥偏生产力最低,为 62.8 kg/kg, T15-15-15-N 次之,为 73.4 kg/kg。与 T15-15-15-N 相比,T25-18-7 磷肥偏生产力减少了 14.5%,T27-8-10-Zn-S、T27-8-10、T27-8-10-Zn 和 T27-8-10-S 则分别增加了 97.5%、90.1%、90.6%和 92.1%,T27-8-10-Zn-S 的增幅最高。

不同处理的钾肥偏生产力与氮肥偏生产力结果相似, T15-15-15-N 的钾肥偏生产力最低,为 73.4 kg/kg, T25-18-7 的钾肥偏生产力最高,为 161.4 kg/kg。与 T15-15-15-N 相

比,钾肥偏生产力 T25-18-7 增加了 119.8%, T27-8-10-Zn-S、T27-8-10、T27-8-10-Zn 和 T27-8-10-S 则分别增加了



注:不同小写字母表示不同处理间差异显著( $P < 0.05$ )

Note: Different lowercase letters indicated significant differences between different treatments ( $P < 0.05$ )

图 1 配方肥对小麦肥料偏生产力的影响

Fig.1 Effect of formula fertilizer on fertilizer partial productivity of wheat

表 3 肥料偏生产力与肥料用量的关系

Table 3 Relationship between fertilizer partial productivity and fertilizer dosage

肥料 Fertilizer	肥料用量(x) Fertilizer dosage	相关系数( $R^2$ ) Correlation coefficient
氮(N)	$y = -0.243x + 90.98$	0.840
磷( $P_2O_5$ )	$y = -1.119x + 207.87$	0.979
钾( $K_2O$ )	$y = -1.385x + 221.82$	0.916

注:y 表示肥料偏生产力

Note:y indicated fertilizer partial productivity

**2.3 抗倒伏性状** 从表 4 可以看出,不同施肥处理小麦的穗长和茎节数差异不显著( $P > 0.05$ )。T15-15-15-N 株高最

高,比 N- $P_2O_5$ - $K_2O$  配方为 27-8-10 的 4 个处理显著增加了 5.3%~7.0%。配方为 25-18-7 和 27-8-10 的处理不同程度减少了小麦倒 1 节和倒 2 节长,其中 T27-8-10-S 和 T27-8-10-Zn-S 比 T15-15-15-N 倒 2 节长显著下降了 14.0% 和 12.1%。T25-18-7 与 T15-15-15-N 的株高、倒 1 节和倒 2 节长差异不明显,抗折力和抗倒伏指数也无显著差异。T27-8-10-Zn-S 抗折力比 T15-15-15-N 显著增加了 17.5%。T27-8-10、T27-8-10-Zn、T27-8-10-S 和 T27-8-10-Zn-S 抗倒伏指数分别比 T15-15-15-N 增加了 55.2%、44.3%、27.8% 和 31.1%,而这 4 个处理抗倒伏指数差异不显著。

表 4 配方肥对小麦抗倒伏性状的影响

Table 4 Effect of formula fertilizer on lodging resistance of wheat

处理 Treatment	株高 Plant height cm	穗长 Ear length cm	茎节数 Internodes 个	倒 1 节长 Uppermost internode length//cm	倒 2 节长 The second internode length//cm	抗折力 Breaking- resistant strength//N	抗倒伏指数 Lodging resistance index
T15-15-15-N	91.70±2.61 a	7.60±0.42 a	5.46±0.52 a	8.63±1.52 a	8.04±0.41 a	9.81±1.19 b	0.59±0.24 c
T25-18-7	90.70±1.61 ab	7.60±1.13 a	5.53±0.52 a	7.13±2.87 a	7.81±0.75 a	9.80±1.79 b	0.69±0.22 bc
T27-8-10	86.70±3.18 bc	8.20±1.03 a	5.67±0.59 a	5.55±2.84 b	7.51±0.61 ab	11.36±2.26 ab	0.92±0.30 a
T27-8-10-Zn	85.40±1.51 c	7.00±0.56 a	5.67±0.52 a	5.30±2.24 b	7.58±0.73 ab	10.38±2.17 ab	0.85±0.28 ab
T27-8-10-S	87.00±2.29 bc	6.90±0.35 a	5.33±0.48 a	5.30±1.65 ab	7.05±0.93 b	10.03±1.69 b	0.82±0.13 ab
T27-8-10-Zn-S	85.70±3.51 c	7.10±0.32 a	5.67±0.49 a	7.05±2.04 ab	7.17±0.86 b	11.89±3.00 a	0.86±0.24 ab

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异显著( $P < 0.05$ )

Note: Different lowercase letters indicated significant difference between different treatments ( $P < 0.05$ )

### 3 结论与讨论

研究表明,化肥在粮食增产中的贡献率高达 40%~50%<sup>[12]</sup>。笔者所在课题组长期从事测土配方工作,长期的研究和推广工作发现,配方肥是保障我国粮食安全的重要抓手<sup>[13-14]</sup>。

在 2017—2018 年麦季,笔者所在课题组已在安徽省宿州市埇桥区西二铺村试验地进行过一年试验,由于受初冬长期阴雨、灌浆期干旱等气候因素影响,该麦季小麦产量较低,为 4 973.3~7 070.8 kg/hm<sup>2</sup>,但 T27-8-10-Zn-S 比 T15-15-15-N 的产量增加了 40.2%<sup>[14]</sup>。在 2017—2018 年麦季试验的基础上,2018—2019 年麦季将 N- $P_2O_5$ - $K_2O$  配方为 25-18-7 和 27-8-10 的复合选择或调整为缓/控释类型,使之与

小麦养分需求匹配,实现一次性施肥。这个麦季的气候条件适合小麦生长发育,因此,与 T15-15-15-N 相比,其他配方肥处理尽管增加了小麦产量,但增幅有限。而与上一年结果相似,N- $P_2O_5$ - $K_2O$  配方为 27-8-10 增加了 Zn 和 S,对小麦增产效果最好。这进一步表明,在 Zn 和 S 等中微量养分匮乏的土壤,补充这些元素有利于小麦增产,这与王少霞等<sup>[15]</sup>和朱云集等<sup>[16]</sup>研究结果一致。

肥料利用率与小麦产量和肥料用量密切相关。该试验中,由于与 T15-15-15-N 相比,N- $P_2O_5$ - $K_2O$  配方为 25-18-7、27-8-10 的相关配方肥处理小麦增产幅度有限,肥料利用

表 5 不同处理效益分析

Table 5 Benefit analysis of different treatments

处理 Treatment	瘤茎产量 Tuber yield kg/hm <sup>2</sup>	经济效益 Economic performance 元/hm <sup>2</sup>	肥料成本 Fertilizer cost 元/hm <sup>2</sup>	总成本 Total cost 元/hm <sup>2</sup>	净收益 Net profit 元/hm <sup>2</sup>	净收益比 CK Net income compared with CK//元/hm <sup>2</sup>	效益/成本 Benefit/cost
①(CK)	36 354.75	21 887.85	2 760	14 760	4 877.85	0	1.29
②	44 149.20	26 489.55	4 260	16 260	7 979.55	3 101.85	1.43
③	44 453.25	26 671.95	4 635	16 635	7 786.95	2 909.10	1.41
④	45 129.75	27 077.85	5 010	17 010	7 817.85	2 940.00	1.41
⑤	46 904.25	28 142.55	5 385	17 385	8 507.55	3 629.70	1.43
⑥	45 698.40	27 419.10	5 760	17 760	7 409.10	2 531.25	1.37
⑦	47 566.05	28 539.60	6 135	18 135	8 154.60	3 276.75	1.40
⑧	48 002.40	28 801.50	6 510	18 510	6 433.20	3 163.65	1.39

注:经济效益(元/hm<sup>2</sup>)=本地瘤茎(榨菜原料)最低收购价 0.6 元/kg×10 000 m<sup>2</sup>产量,总成本(元/hm<sup>2</sup>)=肥料以外的其他投入 800 元+肥料成本  
Note:Economic benefit (yuan/hm<sup>2</sup>)= the lowest purchase price 0.6 yuan/kg of local tumor stem ×10 000 m<sup>2</sup>, total cost (yuan/hm<sup>2</sup>)= other inputs 800 yuan except fertilizer+fertilizer cost

## 参考文献

- [1] 李冬,陈蕾,夏阳,等.生物炭改良剂对小白菜生长及低质土壤氮磷利用的影响[J].环境科学学报,2014,34(9):2384-2391.
- [2] 冯冰,吴英,李磊,等.生物炭对土壤性质及黄瓜和生菜幼苗生长的影响[J].现代农业科技,2017(24):54-55,57.
- [3] 田永强,张正,张倩茹,等.生物炭的研究现状与对策分析[J].山西农业科学,2016,44(5):680-681,714.
- [4] 程月琴,徐生,陈文超.浅析江苏省炭基肥料研发和推广应用前景[J].农业与技术,2018,38(18):246-247.
- [5] 于立宏,易祎,王一博,等.生物炭基肥料对花生生长及产量的影响研究[J].辽宁农业科学,2017(6):31-34.
- [6] 刘善良,常春丽,蒲加军,等.生物炭基肥料在水稻上的应用效果研究[J].现代农业科技,2019(15):5-6.
- [7] 徐孟泽,梁敏,李苗苗,等.炭基肥与化肥配施对生菜产量与品质的影响[J].农学学报,2020,10(7):45-49.
- [8] 于南卓.生物炭及炭基肥料对小白菜、油菜及玉米的生长和土壤养分的影响[D].泰安:山东农业大学,2018:21-26.
- [9] 冯海玲,李向伟.炭基肥料不同施用量对高粱生育性状及产量的影响[J].现代农业,2020(4):32-33.
- [10] 袁晶晶,同延安,卢绍辉,等.生物炭与氮肥配施对土壤肥力及红枣产量、品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2017,23(2):468-475.
- [11] 王晓燕,方玉凤,庞荔丹,等.生物炭配合有机物料对水稻育秧基质的影响[J].安徽农业科学,2015,43(36):188-191.
- [12] 孟令义,王家博,殷大伟.酸性土条件下炭基肥对作物干物质积累量及生物产量的影响[J].现代化农业,2020(6):14-15.
- [13] 刘佩瑛.中国芥菜[M].北京:中国农业出版社,1996.
- [14] 冉瞄瞄,黄君,江波,等.施氮量和海拔条件对榨菜空心发生的影响[J].南方农业,2015,9(16):48-49.
- [15] 李大伟,周加顺,潘根兴,等.生物炭基肥施用对蔬菜产量和品质以及氮素农学利用率的影响[J].南京农业大学学报,2016,39(3):433-440.
- [16] 卢昆玲,尹燕桦,王振林,等.施氮期对小麦茎秆木质素合成的影响及其抗倒伏生理机制[J].作物学报,2014,40(9):1686-1694.
- [17] 张志强,付晶,王奉芝,等.小麦抗倒性研究进展[J].安徽农业科学,2013,41(5):2020-2022.
- [18] 张自立.安徽省土壤有效性微量元素分布研究——V.有效锌的含量与分布[J].安徽农学院学报,1990,17(4):269-274.
- [19] 钱晓华,杨平,周学军,等.安徽省土壤有效硫现状及时空分布[J].植物营养与肥料学报,2018,24(5):1357-1364.
- [20] 魏凤珍,李金才,王成雨,等.氮肥运筹模式对小麦茎秆抗倒性能的影响[J].作物学报,2008,34(6):1080-1085.
- [21] 李金才,尹钧,魏凤珍.播种密度对冬小麦茎秆形态特征和抗倒伏指数的影响[J].作物学报,2005,31(5):662-666.
- [22] 张福锁.测土配方施肥技术要览[M].北京:中国农业出版社,2006.
- [23] 孙义祥,郭跃升,于舜章,等.应用“3414”试验建立冬小麦测土配方施肥指标体系[J].植物营养与肥料学报,2009,15(1):197-203.
- [24] 袁嫚嫚,邹刚,耿维,等.配方肥配施锌肥和硫肥对小麦的提质增效作用[J].农业资源与环境学报,2020,37(4):518-526.
- [25] 王少霞,李萌,田霄鸿,等.锌与氮磷钾配合喷施对小麦锌累积、分配及转移的影响[J].植物营养与肥料学报,2018,24(2):296-305.
- [26] 朱云集,沈学善,李国强,等.硫吸收同化分配及其对小麦产量和品质影响的研究进展[J].麦类作物学报,2005,25(6):134-138.
- [27] MOHAMMAD F, NASEEM U. Effect of K application on leaf carbonic anhydrase and nitrate reductase activities, photosynthetic characteristics, NPK and NO<sub>3</sub> contents, growth, and yield of mustard[J]. Photosynthetica, 2006, 44(3):471-473.

(上接第 163 页)

率的变化与肥料用量关系更加密切。T25-18-7 由于氮、钾肥用量最少,其氮、钾肥偏生产力最高,同样,其磷肥用量最高,磷肥偏生产力最低。T27-8-10-Zn-S 同时增加了 Zn 和 S,比 T27-8-10、T27-8-10-Zn 和 T27-8-10-S 表现出增加氮、磷、钾肥料偏生产力的趋势,与上一年的结果一致<sup>[14]</sup>,进一步说明合理配方肥下配 Zn 和 S 有利于生态环境友好发展。

与 T15-15-15-N 相比,N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O 配方为 27-8-10 增施 Zn 和 S 有利于提高小麦抗倒伏性,主要表现为减少倒 2 节长,提高抗倒伏力和抗倒伏指数。小麦的抗倒伏性与氮、钾大量元素密切相关<sup>[5,15]</sup>。N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O 配方为 27-8-10 减少了氮肥用量,又通过不同释放期的控释尿素与普通尿素配比调控氮素的释放,使之与小麦生长发育匹配,调控小麦有效穗数,降低小麦的株高,构建更加健康合理的小麦群体。同时,在 Zn 和 S 缺乏的土壤,补充这些营养元素,能够在提高小麦 Zn 和 S 吸收和积累的同时,促进氮、钾在韧皮部的转移速率,提高小麦氮素的同化吸收<sup>[17]</sup>,增加小麦抗干热风的能力<sup>[15]</sup>。

## 参考文献

- [1] 罗茂春,田翠婷,李晓娟,等.水稻茎秆形态结构特征和化学成分与抗倒伏关系综述[J].西北植物学报,2007,27(11):2346-2353.
- [2] 杨世民,谢力,郑顺林,等.氮肥水平和栽培密度对杂交稻茎秆理化特性与抗倒伏性的影响[J].作物学报,2009,35(1):93-103.
- [3] WIERSMA D W, OPLINGER E S, GUY S O. Environment and cultivar